

AValiação DE OITO VARIEDADES DE MILHO EM CRUZAMENTOS DIALÉLICOS, COM ANÁLISE DAS MÉDIAS DOS HÍBRIDOS, DAS SUAS GERAÇÕES AVANÇADAS E DAS AUTOFECDUNAÇÕES¹

LUIZ ROBERTO MARTINS PINTO², JOSÉ CARLOS SILVA³, CARLOS SIGUEYUKI SEDIYAMA⁴
e MARTINHO DE ALMEIDA E SILVA⁵

RESUMO - Oito variedades de milho, com grande diversidade genética, foram analisadas quanto ao seu potencial para o melhoramento, analisando-se as médias dos híbridos obtidos com os cruzamentos dialélicos entre as variedades e as populações relacionadas. Foi utilizado o modelo proposto por Gardner & Eberhart (1966) para estimar as constantes genéticas a partir das quais foram estimadas as médias de rendimentos (peso de grãos) das populações de interesse. As variedades que mais se sobressaíram foram, em ordem decrescente de importância: Tuxpeño La Posta, Eto Blanco, Centralmex e Pérola Piracicaba.

Termos para indexação: cruzamentos intervarietais, método de Gardner & Eberhart, avaliação de variedades.

EVALUATION OF EIGHT MAIZE VARIETIES IN A DIALLEL DESIGN WITH AN ANALYSIS OF THE MEANS OF HYBRIDS, THEIR ADVANCED GENERATIONS AND INBREDS

ABSTRACT - Eight corn varieties, with great genetic diversity among them, were studied in a diallel cross system in order to evaluate their breeding potential. The means of the varieties, their hybrids and advanced generations were analyzed using the Gardner & Eberhart (1966) model. With the genetic constants estimated it was possible to estimate the mean grain yield for several types of populations (double hybrids, triple hybrids, synthetic varieties, etc). The best varieties were: Tuxpeño La Posta, Eto Blanco, Centralmex and Pérola Piracicaba.

Index terms: intervarietal crosses, Gardner & Eberhart model, evaluation of varieties.

INTRODUÇÃO

Populações-base superiores são de fundamental importância para um eficiente programa de melhoramento de milho, e a utilidade dessas populações, em um programa de melhoramento, depende sobretudo da superioridade das linhagens autofecundadas que podem ser obtidas delas (Genter & Eberhart 1974, Moll et al. 1977, Paterniani 1980, Silva & Pinto 1982).

Em geral, as linhagens formadoras dos híbridos de milho usados comercialmente têm sido derivadas de um germoplasma com base genética relativamente estreita (Eberhart 1971), já muito selecio-

nado para características de importância econômica (Eberhart & Gardner 1966). Embora grandes coleções tenham sido feitas nos centros de origem do milho, ampliando a variabilidade genética necessária aos programas de melhoramento, o uso desse material em híbridos comerciais tem sido negligenciado, em razão da excessiva altura da planta, da sua sensibilidade ao fotoperíodo e de outras características agrônômicas indesejáveis (Eberhart 1971).

A obtenção de melhores linhagens torna-se cada vez mais difícil, sendo necessárias novas fontes de genes diferentes, ou seja, maior variabilidade genética, para aumentar a probabilidade de obtenção de linhagens produtivas com alta capacidade combinatória (Paterniani 1969).

Uma alternativa é a utilização de populações já adaptadas, onde a utilização efetiva da variância genética aditiva existente resultaria no melhoramento não somente do seu rendimento individual (e de outras características agrônômicas), como também do rendimento de seus cruzamentos e das linhagens delas derivadas (Lonnquist 1965, Paterniani 1969, Russel & Eberhart 1975). Alguns pes-

¹ Aceito para publicação em 6 de outubro de 1986. Parte da tese apresentada, pelo primeiro autor, à Universidade Federal de Viçosa, para obtenção do grau de "Doctor Scientiae".

² Eng. - Agr., D.Sc., Centro de Pesquisas do Cacau-Divisão de Genética, Caixa Postal 7, CEP 45600 Itabuna, BA.

³ Eng. - Agr., Ph.D., Dep. de Biol. Geral da UFV, CEP 36570 Viçosa, MG.

⁴ Eng. - Agr., Ph.D., Dep. de Fitot. da UFV.

⁵ Eng. - Agr., Ph.D., Dep. de Zoot. da UFV.

quisadores sugerem que, antes do início da obtenção de linhagens propriamente ditas, seja obtida uma variedade sintética (Eberhart et al. 1973, Genter 1971, Hallauer & Eberhart 1966, Lonnquist 1961, Moll et al. 1977, Russel & Eberhart 1975) ou que se faça um melhoramento intrapopulacional (Castro et al. 1968, Gardner 1963, Lonnquist 1965, Paterniani 1969, Robinson & Moll 1965), visando aumentar a probabilidade de se obter boas linhagens com elevada produção e boa capacidade combinatória. Paterniani (1965) corrobora essa idéia, relatando que a autofecundação contínua, praticada no milho, é método relativamente ineficiente para aproveitar grande parte da variabilidade genética, uma vez que conduz à fixação gênica aleatória, com a obtenção de linhagens favoráveis e desfavoráveis. A proporção de linhagens favoráveis é aumentada com o melhoramento das populações que consiste na concentração progressiva de genes favoráveis e pode conduzir a populações com frequências gênicas desejáveis bem elevadas. Assim o melhoramento de populações tem sido desenvolvido com o emprego de diversos métodos, com sucessos variados, e é influenciado pela diversidade e grau de adaptação da população original, pela intensidade de seleção, pelos métodos de avaliação e recombinação, pelo grau de dominância e pelo número de famílias isoladas para a síntese da nova população (Genter & Eberhart 1974).

Castro et al. (1968), depois de estudarem cinco variedades geneticamente diversas, sugeriram a utilização das gerações avançadas dos híbridos triplos e duplos de maiores produções como material genético básico em programas de seleção massal antes do início de qualquer programa de melhoramento que envolva endogamia.

Lonnquist & Gardner (1961) salientam que o uso de cruzamentos intervarietais é um meio de determinar o relacionamento entre os pais e serve, também, como guia na determinação das variedades que se devem conservar para futuros trabalhos de melhoramento. Esses pesquisadores, com doze variedades de polinização livre e compostos, que representavam ampla diversidade de germoplasma adaptado, avaliaram a heterose em cruzamentos desse grupo de variedades como guia na se-

leção de estoques adequados para iniciar um programa de seleção recorrente recíproca.

A utilização de variedades sintéticas é sugerida por Mochizuki (1970), quando o nível tecnológico dos agricultores for tal que não os leve à compra anual de sementes híbridas F_1 . A utilização de uma variedade sintética, nesse caso, seria de grande importância, uma vez que o próprio agricultor poderia produzir suas sementes.

As informações de experimentos de cruzamentos intervarietais, como proposto por Eberhart & Gardner (1966), são úteis para se obter conclusões a respeito dos tipos de ação gênica envolvidos na herança de caracteres quantitativos e entender a heterose e a depressão resultante da endogamia. Esses experimentos servem também para escolher as variedades que devem ser usadas em programas de seleção recorrente recíproca, bem como para estimar as médias de linhas puras, híbridos simples, triplos e duplos que podem ser obtidos a partir de um conjunto fixo de variedades, bem como a média de variedades sintéticas. O processo previsivo assume especial importância porque, a partir de oito variedades, podem-se, por exemplo, obter 210 híbridos duplos, que deveriam ser testados em experimentos de campo, caso uma previsão confiável não fosse possível.

O presente trabalho teve como objetivo a avaliação de oito variedades de milho disponíveis para os melhoristas brasileiros, quanto ao seu valor para o melhoramento. Para isso, utilizando o modelo proposto por Eberhart & Gardner (1966) foram obtidas estimativas das constantes genéticas as quais foram utilizadas para estimar as produções médias de híbridos simples, triplos e duplos, possíveis de serem obtidos a partir das variedades estudadas, bem como para estimar os rendimentos das variedades sintéticas possíveis.

MATERIAL E MÉTODOS

Variedades utilizadas

Foram escolhidas oito variedades de milho, com grande diversidade genética. As variedades utilizadas foram as seguintes:

Tuxpeño La Posta - Também conhecida pela sigla WP 25, é de origem mexicana. Apresenta grãos tipo dentado e endosperma branco.

Centralmex - Sintetizada no Instituto de Genética da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Geração avançada do cruzamento América Central x Piramex, com posterior seleção entre e dentro de famílias de meio-irmãos. Originária do México e da América Central. Grãos dentados e endosperma amarelo.

Cateto (MG II) - Trata-se do conhecido milho de grãos duros e alaranjados, que foi muito cultivado no Brasil. O material utilizado no presente trabalho corresponde a uma população composta de inúmeras amostras provenientes do Estado de Minas Gerais.

Pérola Piracicaba - Apresenta grãos duros e endosperma branco. Sintetizada a partir de três linhagens cateto, três linhagens de grãos duros e endosperma branco e duas linhagens de grãos duros e endosperma amarelo, originárias da Colômbia, e uma linhagem semidura, com endosperma amarelo, originária do México.

Dente Paulista - Semidentada amarela. Correspondente ao primeiro ciclo de seleção recorrente para capacidade geral de combinação e é formada pela combinação de doze linhagens S₁ de grãos duros.

Eto Blanco - Apresenta grãos duros e endosperma branco. É de origem colombiana. Também conhecida pela denominação WP7.

Composto Cubano - Grãos duros e endosperma laranja. É formada de amostras de milho, de Cuba.

Antigua grupo II - Endosperma amarelo e grãos semiduros. Originária da América Central. Conhecida pela sigla WP₁₇.

Cruzamentos

Inicialmente, foram feitos todos os cruzamentos entre as populações, usando-se a técnica comum de cruzamento. Cada cruzamento envolveu, em média, 50 plantas. Foi obtida, também, uma geração de autofecundação em cada uma das oito variedades (Y_k^s). Os 28 F₁'s (Y_{kk}) foram autofecundados (Y_{kk}^s), obtendo-se, também, 28 populações F₂ por acasalamento ao acaso dentro dos F₁ (Y_{kk}) totalizando-se, assim, 100 tratamentos. Todos os cruzamentos foram feitos planta a planta, utilizando sempre o mesmo número de sementes de cada espiga, tanto para constituir a geração seguinte como para constituir os tratamentos no ensaio final.

Os tratamentos foram plantados em Viçosa-MG, em "lattice" simples duplicado, 10 x 10, com duas repetições do delineamento básico, dando um total de quatro repetições. Cada parcela foi constituída por uma fileira com área útil de 10,50 m² sendo de 1,0 m o espaçamento entre fileiras e de 0,5 m o espaçamento entre covas, dando 21 covas/fileira. Foram semeadas três sementes/cova, desbastando-se, após 40-45 dias de emergência, para duas plantas/cova o que deu um total de 42 plantas/fileira. A adubação, uniforme, foi efetuada na proporção de 40 kg de N/ha, 40 kg de P₂O₅/ha e 30 kg de K₂O/ha. O adubo

nitrogenado foi aplicado parceladamente: um terço no sulco de plantio e o restante em cobertura, após o desbaste.

O peso de grãos, tomado em quilogramas por parcela, foi corrigido, primeiramente para a umidade padrão de 15,5% e, posteriormente, para o "stand" de 42 plantas/parcela, utilizando-se a fórmula de Zuber (1942).

Foram computados também os seguintes caracteres: 1) peso de espigas (kg/parcela); 2) número de espigas/parcela (total da parcela); 3) peso de 50 grãos (gramas) (média da parcela); 4) altura da planta (m) (média das dez primeiras plantas competitivas da parcela); 5) altura da espiga (m) (média das dez primeiras plantas competitivas da parcela); 6) número de fileiras de grãos nas espigas (média de oito espigas); 7) número de grãos por fileira (média de oito espigas). A altura da planta e da espiga foi medida após o florescimento, tomada do nível do solo até o nó de inserção do pendão e até o nó de inserção da espiga superior, respectivamente. De modo semelhante ao peso de grãos, o peso de espigas e o peso de 50 grãos foram corrigidos para a umidade-padrão de 15,5%, sendo que o peso de espigas foi corrigido, também, para o "stand" de 42 plantas/parcela.

Com as médias ajustadas de cada tratamento (Cochran & Cox 1957), procedeu-se à estimativa de diversos parâmetros relativos aos tipos de ação gênica utilizando-se o modelo inicialmente proposto por Gardner & Eberhart (1966) (análise I), com as modificações introduzidas por Eberhart & Gardner (1966), para incluir os efeitos da epistasia aditiva x aditiva e os alelos múltiplos (Pinto et al. 1985). Utilizando-se estas constantes genéticas, foram obtidas as seguintes estimativas (Castro et al. 1968, Eberhart & Gardner 1966, Gardner & Eberhart 1966, Mochizuki 1970, Pinto et al. 1985):

Média dos híbridos simples - Entre as variedades K e K':

$$Y_{kk'} = u + 1/2 (a_k + a_{k'}) + 1/2 (d_k + d_{k'}) + h_{kk'}$$

Média dos híbridos tripos - Entre o híbrido simples (K x K') e a variedade K'':

$$Y_{kk''} = u + 1/4 (a_k + a_{k'}) + 1/4 (d_k + d_{k'}) + 1/2 (a_{k''}) + 1/2 (d_{k''}) + 1/2 (h_{kk''} + h_{k''k''})$$

Média da geração avançada do híbrido triplo - (k x k') x k'':

$$Y_{kk'k''} = u + 1/4 (a_k + a_{k'}) + 1/4 (d_k + d_{k'}) + 1/2 (a_{k''}) + 1/2 (d_{k''}) + 1/4 (h_{kk''} + h_{k''k''}) + 1/8 (h_{kk''})$$

Geração avançada consiste na multiplicação do híbrido por acasalamentos ao acaso por uma geração

Média dos híbridos duplos - Envolvendo as variedades k, k' k'' e k''':

$$Y_{kk',k''k'''} = u + 1/4 (a_k + a_{k'} + a_{k''} + a_{k'''}) + 1/4 (d_k + d_{k'} + d_{k''} + d_{k'''}) + 1/4 (h_{kk'} + h_{kk''} + h_{k'k''} + h_{k'k'''})$$

Média da geração avançada do híbrido duplo - Envolvendo as variedades k, k', k'' e k''':

$$Y_{kk',k''k'''}^r = u + 1/4 (a_k + a_{k'} + a_{k''} + a_{k'''}) + 1/4 (d_k + d_{k'} + d_{k''} + d_{k'''}) + 1/8 (h_{kk'} + h_{kk''} + h_{k'k''} + h_{k'k'''} + h_{k''k'''} + h_{kk''} + h_{k''k'''})$$

Médias de misturas de híbridos intervarietais - (ou geração Sin-1 de uma variedade sintética):

Por geração SIN-1 de uma variedade sintética entende-se a mistura de igual número de sementes de todos os cruzamentos simples entre as variedades envolvidas na formação do sintético.

$$Y_{k,k',k'' \dots k^n} = u + 1/n (a_k + a_{k'} + \dots + a_{k^n}) + 1/n (d_k + d_{k'} + \dots + d_{k^n}) + 1/C_n^2 (h_{kk'} + h_{kk''} + \dots + h_{k^{n-1}k^n})$$

onde C_n^2 refere-se ao total de combinações de n variedades duas a duas.

As gerações Sin-1 nas variedades sintéticas envolvendo duas variedades não foram estimadas porque apresentam os mesmos resultados dos híbridos simples correspondentes.

Média da variedade sintética - (ou geração Sin-2):

Por geração Sin-2, em uma variedade sintética, entende-se a geração resultante de acasalamentos ao acaso na geração Sin-1, sem a ocorrência de autofecundações. Posteriormente, toma-se igual número de sementes de cada espiga colhida, para formar uma variedade sintética balanceada para o plantio no ano seguinte.

$$Y_{k,k',k'' \dots k^n} = u + 1/n (a_k + a_{k'} + \dots + a_{k^n}) + 1/n (d_k + d_{k'} + \dots + d_{k^n}) + 2/n^2 (h_{kk'} + h_{kk''} + \dots + h_{k^{n-1}k^n})$$

As gerações Sin-2 (ou as variedades sintéticas) foram estimadas apenas para os conjuntos com duas, três, cinco, sete e oito variedades, uma vez que as variedades sintéticas com quatro variedades apresentam os mesmos valores estimados que as gerações avançadas dos híbridos duplos.

Nestas sete equações temos que:

r = corresponde a uma geração de acasalamento ao acaso.

u = representa a média das linhagens homocigóticas obtidas ao acaso em todas as variedades.

a_k e $a_{k'}$ = representam a contribuição dos locos homocigóticos para as variedades k e k'. Se a epistasia intravarietal existir, representa a soma dos efeitos aditivos e epistáticos nesta variedade.

d_k e $d_{k'}$ = representam a contribuição dos locos heterocigóticos nas variedades k e k'.

$h_{kk'}$ = representa o parâmetro de heterose, que é conseqüente à diferença de frequências gênicas nas variedades k e k' e à dominância ($h_{kk'}$ é expresso quando as variedades k e k' são cruzadas).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias dos tratamentos ajustadas pela análise do "lattice" encontram-se na Tabela 1. As médias estimadas dos tratamentos para peso de grãos, segundo o modelo que inclui os efeitos aditivos e de dominância, também se acham nesse quadro, para melhor comparação dos valores observados e estimados.

A análise de variância do peso de grãos, conforme a Tabela 2, mostra que os tratamentos não constituem um grupo homogêneo, com base na significância do teste F, ao nível de 1% de probabilidade, evidenciando a existência de variação genotípica.

O desdobramento da soma de quadrados de tratamento indicou significância para os efeitos aditivos, de dominância, e de heterose. Os efeitos epistáticos não foram significativos, nem os desvios do modelo. Assim pode-se admitir um modelo mais simples para explicar as médias das populações estudadas, utilizando apenas os efeitos aditivos e os de dominância, uma vez que nem a epistasia aditiva x aditiva nem as epistasias de maior ordem mostraram ser importantes na expressão das médias dos tratamentos. O modelo sem epistasia explicou 98,52% da variação das médias dos tratamentos, o que indica que é adequado para previsão. Deste modo, as constantes genéticas estimadas do modelo sem epistasia foram usadas para estimar as médias de produções de algumas populações (Tabelas 1, 4, 5, 6, 7).

No presente trabalho, com a epistasia considerada negligenciável, as produções preditas das variedades e seus cruzamentos são mais confiáveis que as produções observadas, na tomada de decisões concernentes à escolha de populações-base para um programa de seleção ou para um programa de seleção recorrente recíproca, em que o cruza-

TABELA 1. Médias ajustadas pela análise de "lattice" dos 100 tratamentos (8 variedades, oito variedades autofecundadas (S₁), 28 híbridos F₁, 28 F₂ (acasalamentos ao acaso dentro dos F₁), 28 F₂ (autofecundações dos F₁) para o caráter peso de grãos, e a média estimada a partir do modelo incluindo os efeitos aditivos, conseqüente à dominância e heterose. Viçosa, MG, 1970/71.

Tratamentos	Média observada	Média estimada
Variedades		
Tuxpeño	5,069	5,489
Centralmex	6,106	6,011
Cateto	3,160	3,418
Pérola Piracicaba	5,160	5,152
Dente Paulista	3,552	3,742
Eto Blanco	5,387	5,413
Composto Cubano	4,801	4,733
Antigua Grupo 2	3,428	3,422
Variedades autofecundadas (S₁)		
Tuxpeño	3,371	2,763
Centralmex	2,965	3,051
Cateto	1,030	1,096
Pérola Piracicaba	2,573	2,545
Dente Paulista	1,351	1,075
Eto Blanco	2,059	2,139
Composto Cubano	1,905	1,967
Antigua Grupo 2	1,490	1,822
Híbridos F₁		
Tuxpeño x Centralmex	6,986	7,036
Tuxpeño x Cateto	5,670	5,585
Tuxpeño x Pérola	6,772	6,714
Tuxpeño x Dente	5,994	6,047
Tuxpeño x Eto	7,357	7,215
Tuxpeño x C. Cubano	6,359	6,229
Tuxpeño x Antigua	5,116	5,054
Centralmex x Cateto	4,988	5,230
Centralmex x Pérola	6,239	6,029
Centralmex x Dente	5,613	5,479
Centralmex x Eto	5,761	6,857
Centralmex x C. Cubano	5,335	5,284
Centralmex x Antigua	5,441	5,431
Cateto x Pérola	4,859	4,823
Cateto x Dente	3,882	3,872
Cateto x Eto	4,965	5,213
Cateto x C. Cubano	4,559	4,696
Cateto x Antigua	4,231	4,383
Pérola x Dente	5,553	5,629
Pérola x Eto	5,741	5,751
Pérola x C. Cubano	4,657	4,682
Pérola x Antigua	5,653	5,756
Dente x Eto	6,216	6,195
Dente x C. Cubano	5,010	4,897
Dente x Antigua	4,851	4,809
Eto x C. Cubano	6,070	5,885
Eto x Antigua	4,742	4,949
C. Cubano x Antigua	4,721	5,026
F₂^r (F₁ x F₁)		
Tuxpeño x Centralmex	6,606	6,393
Tuxpeño x Cateto	4,823	5,019
Tuxpeño x Pérola	6,052	6,017
Tuxpeño x Dente	5,708	5,331
Tuxpeño x Eto	6,423	6,333
Tuxpeño x C. Cubano	5,503	5,670
Tuxpeño x Antigua	4,869	4,755
Centralmex x Cateto	5,140	4,972
Centralmex x Pérola	5,482	5,805
Centralmex x Dente	4,874	5,178
Centralmex x Eto	6,288	6,284
Centralmex x C. Cubano	5,280	5,328
Centralmex x Antigua	5,156	5,074
Cateto x Pérola	4,775	4,554
Cateto x Dente	3,755	3,726
Cateto x Eto	5,119	4,814
Cateto x C. Cubano	4,683	4,385
Cateto x Antigua	4,238	3,901
Pérola x Dente	5,252	5,038
Pérola x Eto	5,490	5,517
Pérola x C. Cubano	4,696	4,812
Pérola x Antigua	4,390	5,021
Dente x Eto	5,270	5,387
Dente x C. Cubano	4,554	4,567
Dente x Antigua	4,219	4,196
Eto x C. Cubano	5,347	5,479
Eto x Antigua	4,827	4,684
C. Cubano x Antigua	4,583	4,552
F₂^s (F₁ Autofecundado)		
Tuxpeño x Centralmex	3,437	3,550
Tuxpeño x Cateto	2,522	2,495
Tuxpeño x Pérola	3,201	3,351
Tuxpeño x Dente	2,364	2,635
Tuxpeño x Eto	2,959	3,333
Tuxpeño x C. Cubano	2,833	2,924
Tuxpeño x Antigua	2,353	2,591
Centralmex x Cateto	2,648	2,331
Centralmex x Pérola	2,925	3,022
Centralmex x Dente	2,401	2,365
Centralmex x Eto	3,355	3,167
Centralmex x C. Cubano	2,413	2,465
Centralmex x Antigua	2,692	2,794
Cateto x Pérola	1,796	2,090
Cateto x Dente	1,183	1,232
Cateto x Eto	2,207	2,016
Cateto x C. Cubano	1,818	1,842
Cateto x Antigua	1,907	1,940
Pérola x Dente	2,380	2,401

TABELA 1. Continuação.

Tratamentos	Média observada	Média estimada
Pérola x Eto	2,624	2,575
Pérola x C. Cubano	2,292	2,126
Pérola x Antigua	3,216	2,918
Dente x Eto	2,492	2,416
Dente x C. Cubano	1,640	1,851
Dente x Antigua	1,955	2,062
Eto x C. Cubano	2,223	2,459
Eto x Antigua	2,518	2,246
C. Cubano x Antigua	2,947	2,369

mento das duas populações ou o desenvolvimento de linhas autofecundadas sejam o objetivo final (Gardner & Paterniani 1967, Vencovsky 1970).

A capacidade geral de combinação, segundo Eberhart & Gardner (1966), é definida como $g_k = 1/2 (a_k + (d_k - d)) + h_k$, sendo $\sum_k g_k = 0$.

Pela Tabela 3, observa-se que a variedade 1-Tuxpeño La Posta apresentou a maior capacidade combinatória geral ($\hat{g}_1 = 0,866$), seguida das variedades 6-Eto Blanco ($\hat{g}_6 = 0,563$), 2-Centramex ($\hat{g}_2 = 0,444$) e 4-Pérola Piracicaba ($\hat{g}_4 = 0,116$), que apresentaram capacidades combinatórias positivas, contribuindo para o aumento da média geral dos cruzamentos. As demais variedades contribuíram para uma redução da média geral dos cruzamentos de que participaram, sendo a 3-Cateto ($\hat{g}_3 = -0,814$) a variedade com menor capacidade combinatória geral dentre todas as estudadas, seguida, em ordem crescente de valores da 8-Antigua ($\hat{g}_8 = -0,548$), 7-Composto Cubano ($\hat{g}_7 = -0,332$) e 5-Dente Paulista ($\hat{g}_5 = -0,293$).

Conforme se pode verificar, comparando as Tabelas 1 e 3, as variedades que apresentam os maiores valores de capacidade geral de combinação são, também, as que apresentam os maiores rendimentos médios. Estes resultados confirmam o relatado na literatura consultada, onde as variedades adaptadas mais produtivas são apresentadas com as que resultam em híbridos mais produtivos (Paterniani 1974).

O comportamento de um híbrido intervarietal representa o comportamento médio de todos os possíveis híbridos simples provenientes do cruza-

mento entre linhagens das duas variedades parentais, já que as freqüências dos genes nas linhagens que gerarão os híbridos simples dependem das freqüências desses genes nas variedades de que foram obtidas. Conseqüentemente, a presença de um híbrido intervarietal altamente produtivo é bastante alentadora, pois espera-se que alguns dos híbridos simples (também híbridos duplos ou triplos) selecionados excedam em muito o comportamento do híbrido intervarietal (Souza Junior 1981). Assim sendo, podem-se esperar bons híbridos simples provenientes de cruzamentos entre linhagens das variedades 1-Tuxpeño La Posta, 2-Centramex, 4-Pérola Piracicaba e 6-Eto Blanco, por causa das altas produções dos híbridos 1-Tuxpeño La Posta x 6-Eto Blanco (7,215 t/ha), 1-Tuxpeño La Posta x 2-Centramex (7,036 t/ha), 2-Centramex x 6-Eto Blanco (6,857 t/ha) e 1-Tuxpeño La Posta x 4-Pérola Piracicaba (6,714 t/ha) (Tabela 6). Os pais desses híbridos altamente produtivos poderiam ser melhorados mediante seleção recorrente recíproca, o que melhoraria, conseqüentemente, após alguns ciclos de seleção, a capacidade produtiva dos híbridos provenientes dos cruzamentos entre as linhagens endogâmicas obtidas dessas variedades.

Na Tabela 4, observam-se as médias estimadas das variedades sintéticas para cada uma das oito variedades estudadas. Pode-se ter uma idéia da capacidade geral de combinação das variedades com base no comportamento médio de cada variedade em todos os cruzamentos de que participou, dentro de cada grupo de variedades sintéticas. Esses resultados estão de acordo com aqueles apresentados na Tabela 3, notando-se que a variedade 1-Tuxpeño La Posta apresenta a maior capacidade geral de combinação, visto apresentar a maior média nos cruzamentos, seguida das variedades 6-Eto Blanco, 2-Centramex e 4-Pérola Piracicaba. Estas variedades apresentam comportamento uniforme, na ordem decrescente apresentada, em todas as populações estimadas, verificando-se alteração apenas nas variedades sintéticas com duas e três variedades, onde as variedades 2-Centramex e 6-Eto Blanco permutam as posições, passando a ser a segunda e a terceira média, respectivamente.

As variedades 3-Cateto e 8-Antigua Grupo II

TABELA 2. Análise de variância do peso de grãos, coeficiente de variação, eficiência do "lattice", coeficiente de determinação - R² (modelos com e sem epistasia) e percentagem da variação entre as médias conseqüente ao desvio e a cada um dos efeitos indicados no modelo genético (após a SQ).

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Repetições	3	54,8967	18,2989	
Tratamentos	99	981,8840	9,9180	31,17**
Efeitos aditivos (a _k)	7	158,2680 (16,1%)	22,6097	71,06**
Efeitos de dominância (d _k)	8	756,6840 (77,1%)	94,5855	297,25**
Efeitos de heterose (h _{kk'})	28	52,3880 (5,3%)	1,8710	5,88**
Heterose média (h̄)	1	26,2400 (2,7%)	26,2450	82,46**
Heterose varietal (h _k)	7	6,1600 (0,6%)	0,8800	2,77**
Heterose específica (s _{kk'})	20	19,9880 (2,0%)	0,9994	3,14**
Epistasia ad x ad (aa _{kk'})	28	6,4680 (0,7%)	0,2310	0,73
Desvio do modelo	28	8,0800 (0,8%)	0,2886	0,91
Blocos/repetições	36	32,9580	0,9155	
Componente A	18	15,1272	0,8404	
Componente B	18	17,4726	0,9707	
Resíduo (erro efetivo)	261	83,0502	0,3182	
Total	399			

Coeficiente de variação = 13,40%;

Eficiência do "lattice" = 114,20%;

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

R² do modelo sem epistasia = 98,52%

R² do modelo com epistasia = 99,18%.

TABELA 3. Estimativas da capacidade geral de combinação de cada uma das variedades estudadas, segundo Eberhart e Gardner (1966). Peso de grãos.

Variedades	Capacidade geral de combinação
1. Tuxpeño La Posta	0,866
2. Centralmex	0,444
3. Cateto	-0,814
4. Pérola Piracicaba	0,116
5. Dente Paulista	-0,293
6. Eto Blanco	0,563
7. Composto Cubano	-0,332
8. Antigua Grupo 2	-0,548

também apresentaram comportamento uniforme, contudo apresentaram menores capacidades gerais de combinação. Esse resultado pode ter ocorrido pela não inclusão, na estimativa das médias das populações, dos efeitos epistáticos que foram importantes para as duas variedades em consideração (Pinto et al. 1985). As variedades 5-Dente Paulista

e 7-Composto Cubano foram as mais instáveis, alternando suas posições, na ordem das médias estimadas, nas diversas populações.

Na Tabela 5 estão as médias estimadas dos cruzamentos com as maiores produções para os híbridos intervarietais, misturas de híbridos intervarietais (geração Sin-1) e variedades sintéticas. Observa-se que, na medida em que o número de variedades aumenta nos cruzamentos, a produção estimada diminui em todos os tipos de populações. A capacidade geral de combinação foi o fator mais importante na determinação da produção nos cruzamentos. Nota-se que, fixado o tipo de população que vai ser utilizado, um acréscimo na variabilidade genética, pela inclusão de outras variedades nos cruzamentos envolvendo as variedades 1-Tuxpeño La Posta, 6-Eto Blanco e 2-Centralmex, resultaria em menores produções. Observa-se, também, por esse quadro, que o híbrido simples entre as variedades 1-Tuxpeño La Posta e 6-Eto Blanco apresenta a maior média estimada (7,215 t/ha).

As cinco melhores populações dentro de cada

TABELA 4. Médias estimadas das variedades sintéticas (VS) para cada uma das oito variedades estudadas para peso de grãos.

Variedades	Médias (t/ha)	Variedades	Médias (t/ha)
VS com duas variedades:		VS com cinco variedades:	
1 - Tuxpeño La Posta	5,645	1 - Tuxpeño La Posta	5,489
2 - Centralmex	5,576	2 - Centralmex	5,440
3 - Cateto	4,482	3 - Cateto	5,223
4 - Pérola Piracicaba	5,252	4 - Pérola Piracicaba	5,380
5 - Dente Paulista	4,775	5 - Dente Paulista	5,300
6 - Eto Blanco	5,499	6 - Eto Blanco	5,446
7 - Composto Cubano	4,971	7 - Composto Cubano	5,312
8 - Antigua Grupo 2	4,597	8 - Antigua Grupo 2	5,260
VS com três variedades:		VS com seis variedades:	
1 - Tuxpeño La Posta	5,582	1 - Tuxpeño La Posta	5,460
2 - Centralmex	5,489	2 - Centralmex	5,430
3 - Cateto	4,884	3 - Cateto	5,310
4 - Pérola Piracicaba	5,317	4 - Pérola Piracicaba	5,398
5 - Dente Paulista	5,075	5 - Dente Paulista	5,354
6 - Eto Blanco	5,480	6 - Eto Blanco	5,435
7 - Composto Cubano	5,142	7 - Composto Cubano	5,359
8 - Antigua Grupo 2	4,969	8 - Antigua Grupo 2	5,331
VS com quatro variedades:		VS com sete variedades:	
1 - Tuxpeño La Posta	5,528	1 - Tuxpeño La Posta	5,438
2 - Centralmex	5,456	2 - Centralmex	5,424
3 - Cateto	5,094	3 - Cateto	5,373
4 - Pérola Piracicaba	5,355	4 - Pérola Piracicaba	5,410
5 - Dente Paulista	5,217	5 - Dente Paulista	5,392
6 - Eto Blanco	5,460	6 - Eto Blanco	5,427
7 - Composto Cubano	5,244	7 - Composto Cubano	5,394
8 - Antigua Grupo 2	5,151	8 - Antigua Grupo 2	5,382

TABELA 5. Médias estimadas dos cruzamentos com as maiores produções para os híbridos intervarietais, misturas de híbridos intervarietais (geração Sin-1) e variedades sintéticas, para peso de grãos.

	1, 6, 2, 4, 5	6,295
	1, 6, 2, 4, 5, 7	5,996
	1, 6, 2, 4, 5, 7, 8	5,760
	1, 6, 2, 4, 5, 7, 8, 3	5,527
	Variedades sintéticas com as variedades	
	1, 2	6,393
	1, 2, 6	6,570
	1, 2, 6, 4	6,329
	1, 2, 6, 4, 5	6,069
	1, 2, 6, 4, 5, 7	5,845
	1, 2, 6, 4, 5, 7, 8	5,630
	1, 2, 6, 4, 5, 7, 8, 3	5,527
Variedades envolvidas	Média estimada (t/ha)	
Híbridos		
1 x 6	7,215	
(2 x 6) x 1	7,125	
(1 x 2) x (4 x 6)	6,704	
Misturas de híbridos intervarietais		
1, 6	7,215	
1, 6, 2	7,036	
1, 6, 2, 4	6,600	

grupo encontram-se na Tabela 6. As maiores produções estão no grupo dos híbridos simples e triplos e as menores no grupo das variedades sintéticas com sete e oito variedades. Dentre as quinze melhores populações estimadas a partir das varie-

TABELA 6. Médias estimadas (peso de grãos) das cinco melhores populações dentro de cada grupo analisado: híbridos simples, variedades sintéticas (VS) envolvendo número variável de variedades, híbridos triplos, híbridos duplos, geração avançada de híbridos triplos e misturas de híbridos intervarietais (HI) envolvendo número variável de variedades.

Variedades envolvidas	Média estimada (t/ha)	Variedades envolvidas	Média estimada (t/ha)
Híbridos simples		Híbridos triplos-geração avançada	
1, 6	7,215	(1 x 6) x 2	6,559
1, 2	7,036	(1 x 4) x 2	6,273
2, 6	6,856	(4 x 6) x 1	6,234
1, 4	6,714	(4 x 6) x 2	6,103
1, 7	6,230	(6 x 7) x 1	6,103
VS com duas variedades		Misturas de HI de três variedades	
1, 2	6,393	1, 2, 6	7,036
1, 6	6,333	1, 2, 4	6,593
2, 6	6,284	1, 4, 6	6,560
1, 4	6,017	1, 5, 6	6,486
2, 4	5,805	1, 6, 7	6,443
Híbridos triplos⁺		VS com três variedades	
(2 x 6) x 1	7,125	1, 2, 6	6,570
(4 x 6) x 1	6,966	1, 2, 4	6,246
(2 x 4) x 1	6,875	1, 4, 6	6,157
(6 x 7) x 1	6,722	1, 6, 7	6,033
(1 x 5) x 6	6,705	2, 4, 6	5,983
Híbridos duplos⁺		VS com cinco variedades	
(1 x 2) x (4 x 6)	6,704	1, 2, 4, 5, 6	6,069
(1 x 6) x (5 x 2)	6,533	1, 2, 4, 6, 7	6,007
(1 x 6) x (2 x 7)	6,502	1, 2, 5, 6, 7	5,906
(1 x 5) x (4 x 6)	6,438	1, 2, 4, 6, 8	5,883
(1 x 2) x (6 x 7)	6,396	1, 2, 3, 4, 6	5,856
Misturas de HI de quatro variedades		VS com seis variedades	
1, 2, 4, 6	6,600	1, 2, 4, 5, 6, 7	5,845
1, 2, 5, 6	6,471	1, 2, 4, 5, 6, 8	5,754
1, 2, 6, 7	6,418	1, 2, 4, 6, 7, 8	5,723
1, 4, 5, 6	6,259	1, 2, 3, 4, 6, 7	5,686
1, 2, 3, 6	6,189	1, 2, 3, 4, 5, 6	5,683
VS com quatro variedades		Misturas de HI de sete variedades	
1, 2, 4, 6	6,329	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8	5,760
1, 2, 6, 7	6,166	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	5,683
1, 2, 5, 6	6,144	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8	5,622
1, 4, 5, 6	5,931	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8	5,611
1, 2, 3, 6	5,913	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8	5,494
Misturas de HI de cinco variedades		VS com sete variedades	
1, 2, 4, 5, 6	6,295	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8	5,630
1, 2, 4, 6, 7	6,168	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	5,565
1, 2, 5, 6, 7	6,113	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8	5,496
1, 2, 4, 6, 8	6,079	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8	5,485
1, 2, 3, 4, 6	6,045	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8	5,367
Misturas de HI de seis variedades		Misturas de HI de oito variedades	
1, 2, 4, 5, 6, 7	5,996	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	5,527
1, 2, 4, 5, 6, 8	5,930		
1, 2, 4, 6, 7, 8	5,860	VS com oito variedades	
1, 2, 3, 4, 5, 6	5,845		
1, 2, 3, 4, 6, 7	5,816	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	5,420

+ Analisando-se grupos de híbridos duplos e triplos com diferentes variedades.

TABELA 7. Médias estimadas das quinze melhores populações para peso de grãos e as estimativas correspondentes dos caracteres peso de espigas, percentagem de umidade, número de espigas/parcela, peso de 50 grãos, altura da planta, altura da espiga, número de fileiras de grãos/espiga e número de grãos/fileira.

Variedades envolvidas	Peso de grãos (t/ha)	Peso de espigas (t/ha)	Percentagem de umidade	Número de espigas	Peso de 50 grãos (g)	Altura planta (m)	Altura espiga (m)	Número fileiras/esp.	Número grãos/fileira
HS 1,6	7,215	9,016	21,033	41,983	17,897	2,320	1,403	14,494	34,781
HT (2 x 6) x 1	7,125	8,828	20,180	41,863	17,967	2,359	1,412	14,146	37,210
HS 1, 2	7,036	8,639	19,326	41,743	18,037	2,398	1,420	13,797	39,640
M3V 1, 2, 6	7,036	8,710	20,103	41,928	18,531	2,340	1,408	13,838	36,069
HT (1 x 2) x 6	7,035	8,745	20,491	42,021	18,778	2,311	1,401	13,858	34,283
HT (4 x 6) x 1	6,965	8,707	20,392	41,622	17,836	2,329	1,410	14,542	34,542
HT (1 x 6) x 2	6,946	8,557	19,637	41,901	18,848	2,350	1,410	13,510	36,713
HT (2 x 4) x 1	6,875	8,518	19,539	41,502	17,906	2,368	1,418	14,194	36,972
HS 2, 6	6,856	8,474	19,948	42,059	19,659	2,302	1,399	13,222	33,786
HT (6 x 7) x 1	6,722	8,315	20,445	42,423	17,276	2,280	1,391	14,752	35,503
HS 1, 4	6,714	8,397	19,751	41,261	17,774	2,338	1,416	14,590	34,304
HT (1 x 5) x 6	6,705	8,345	20,614	42,670	17,673	2,298	1,371	14,756	33,603
HD (1 x 2) x (4 x 6)	6,704	8,320	19,914	41,837	18,214	2,247	1,352	13,901	34,435
MAV 1, 2, 4, 6	6,600	8,193	19,644	41,994	18,272	2,257	1,349	13,956	34,595
M3V 1, 2, 4	6,593	8,143	19,333	41,683	17,779	2,254	1,343	13,896	36,271

HS = Híbrido simples

HT = Híbrido triplo

HD = Híbrido duplo

M3V = Mistura de híbridos intervarietais de três variedades

MAV = Mistura de híbridos intervarietais de quatro variedades.

dades estudadas (Tabela 7) sobressaiu-se, em quatorze delas, a variedade 1-Tuxpeño La Posta. A variedade 6-Eto Blanco está presente em onze, a variedade 2-Centramex em dez e a variedade 4-Pérola Piracicaba em seis. Neste quadro estão incluídas as estimativas de médias de outros caracteres para um melhor julgamento das populações estimadas.

CONCLUSÕES

1. Apresentaram os maiores valores para capacidade geral de combinação as variedades Tuxpeño La Posta, Eto Blanco, Centramex e Pérola Piracicaba, em ordem decrescente, o que indica que estas devem ser as variedades melhoradas mediante métodos de seleção intrapopulacionais, para que sejam exploradas as variabilidades genéticas aditivas, ou mediante um programa de seleção recorrente recíproca.

2. Podem-se esperar bons híbridos simples de cruzamentos entre linhagens das variedades anteriormente mencionadas, o que se nota sobretudo pelas altas estimativas de produções dos híbridos Tuxpeño La Posta x Eto Blanco (7,215 t/ha), Tuxpeño La Posta x Centramex (7,036 t/ha), Centramex x Eto Blanco (6,857 t/ha) e Tuxpeño La Posta x Pérola Piracicaba (6,714 t/ha).

3. Analogamente, bons híbridos duplos podem ser esperados de linhagens dessas mesmas variedades, uma vez que a estimativa de produção de híbrido duplo (Tuxpeño La Posta x Centramex) x (Pérola Piracicaba x Eto Blanco) foi de 6,704 t/ha. Essas devem ser, portanto, as variedades que se devem utilizar quando se visa a obtenção de linhagens que, em cruzamentos, resultem em combinações híbridas altamente produtivas.

4. A partir das estimativas de produções das variedades sintéticas, conclui-se que essas mesmas variedades devem ser escolhidas para formação de variedades sintéticas originando novas populações com suficiente variabilidade genética e alta produtividade.

REFERÊNCIAS

CASTRO, G.M.; GARDNER, C.O.; LONNQUIST, J.H. Cumulative gene effects and the nature of heterosis in maize crosses involving genetically diverse races. *Crop Sci.*, 8:97-101, 1968.

- COCHRAN, W.G. & COX, G.M. *Experimental designs*. 2.ed. New York, J. Wiley, 1957. 611p.
- EBERHART, S.A. Regional maize diallels with US and semi-exotic varieties. *Crop Sci.*, 11:911-4, 1971.
- EBERHART, S.A.; DEBELA, S.; HALLAUER, A.R. Reciprocal recurrent selection in the BSSS and BSCB1 maize populations and half-sib selection in BSSS. *Crop Sci.*, 13:451-6, 1973.
- EBERHART, S.A. & GARDNER, C.O. A general model for genetic effects. *Biometrics*, 22:864-81, 1966.
- GARDNER, C.O. Estimates of genetic parameters in cross-fertilizing plants and their implications in plant breeding. In: HANSON, W.E. & ROBINSON, H.F. *Statistical genetics and plant breeding*. Washington, National Academy of Sciences/National Research Council, 1963. p.225-52. (Publication, 982)
- GARDNER, C.O. & EBERHART, S.A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics*, 22:439-52, 1966.
- GARDNER, C.O. & PATERNIANI, E. A genetic model used to evaluate the breeding potential of open-pollinated varieties of corn. *Ci. e Cult.*, 19:95-101, 1967.
- GENTER, C.F. Yields of S₁ lines from original and advanced synthetic varieties of maize. *Crop Sci.*, 11:821-4, 1971.
- GENTER, C.F. & EBERHART, S.A. Performance of original and advanced maize populations and their diallel crosses. *Crop Sci.*, 14:881-5, 1974.
- HALLAUER, A.R. & EBERHART, S.A. Evaluation of synthetic varieties for yield. *Crop Sci.*, 6:423-7, 1966.
- LONNQUIST, J.H. Métodos de selección útiles para mejoramiento dentro de poblaciones. *Fitotec. Latinoam.*, 2:1-10, 1965.
- LONNQUIST, J.H. & GARDNER, C.O. Heterosis in intervarietal crosses in maize and its implications in breeding procedures. *Crop Sci.*, 1:179-83, 1961.
- MOCHIZUKI, N. Theoretical approach for the choice of parents and their number to develop a highly productive synthetic variety in maize. *Jap. J. Breed.*, 20:105-9, 1970.
- MOLL, R.H.; BARI, A.; STUBER, C.W. Frequency distribution of maize yield before and after reciprocal recurrent selection. *Crop Sci.*, 17:794-6, 1977.
- PATERNIANI, E. Estudos recentes sobre heterose. s.l., Fundação Cargill, 1974. 36p. (Boletim, 1)
- PATERNIANI, E. Heterosis in intervarietal crosses of maize (*Zea mays* L.) and their advanced generations. *R. bras. Genét.*, 3:235-49, 1980.
- PATERNIANI, E. Melhoramento de populações de milho. *Ci. e Cult.*, 21:3-10, 1969.
- PATERNIANI, E. Seleção recorrente para capacidade geral de combinação em milhos da América Central. *Ci. e Cult.*, 17:555-9, 1965.

- PINTO, L.R.M.; SILVA, J.C.; SILVA, M.A.; SEDIYAMA, C.S. Estimativas de constantes genéticas para produção de grãos pela análise das médias em um cruzamento dialélico entre oito variedades de milho. *R. Ceres*, 32:132-48, 1985.
- ROBINSON, H.F. & MOLL, R.H. Procedimientos útiles para mejorar el comportamiento de cruces intervarietales. *Fitotec. Latinoam.*, 2:39-56, 1965.
- RUSSEL, W.A. & EBERHART, S.A. Hybrid performance of selected maize lines from reciprocal recurrent and testcross selection programs. *Crop Sci.*, 15:1-4, 1975.
- SILVA, J.C. & PINTO, L.R.M. Depressão causada pela endogamia em seis variedades de milho (*Zea mays* L.) opaco-2. *R. Ceres*, 29:164-75, 1982.
- SOUZA JÚNIOR, C.L. Análise de cruzamentos dialélicos e predição de compostos de milho (*Zea mays* L.) braquítico. Piracicaba, ESALQ, 1981. 102p. Tese Mestrado.
- VENCOVSKY, R. Alguns aspectos teóricos e aplicados relativos a cruzamentos dialélicos de variedades. Piracicaba, ESALQ, 1970. 59p. Tese Livre-Docência.
- ZUBER, M.S. Relative efficiency of incomplete block designs using corn uniformity trial data. *J. Am. Soc. Agron.*, 34:30-47, 1942.